# Conception Mécatronique d'un Préhenseur Flexible

Ph. Bidaud

Laboratoire de Robotique de Paris Centre Universitaire de Technologie 10, Avenue de l'Europe 78140 Vélizy

RESUME: Cet article décrit un système de préhension flexible conçu dans une approche mécatronique. Le préhenseur tridigital réalisé exploite des mécanismes de préhension à barres guidant les contacts sur des trajectoires rectilignes. Il dispose de capteurs tactiles et d'un contrôleur local, élaboré autour d'un microprocesseur INTEL 80C196, pour un contrôle autonome et réactif des fonctions de prise. On peut communiquer avec ce contrôleur local par un bus de terrain déterministe normalisé, le CAN. On accède à ce réseau à partir des bus standardisés VME et EISA grâce aux interfaces développées. Le mini-moteur d'inférence implémenté sur la carte interface VME-CAN offre un support de programmation souple de procédures d'apprentissage et de contrôle d'exécution. Sa conception modulaire permet d'en envisager plusieurs variantes.

ABSTRACT: This paper describes an intelligent gripper designed in a mechatronics approach. The developped three fingered gripper uses special linkages as gripping devices to generate a straight line motion of jaws. It incorporates force feedback sensors as well as a local controller based on a micro-processor INTEL 80C196 for an autonomous and reactive control. Grasping functions can be activated in real-time, from VME or EISA buses, by the mean of a communication area network. The inference engine, implemented on the VME-CAN interface, offers a flexible programming environment for learning and execution control procedures. It is a modular design and can be modified to the end user's specifications.

### 1. INTRODUCTION

La préhension constitue un problème clé en robotique. De la qualité de cette fonction dépend bien souvent le succès de l'automatisation d'un poste de travail. Malgré l'effort de recherche important consacré à la robotique dans cette dernière décennie, la conception des outils de préhension disponibles reste encore extrêmement "rustique". Leurs limitations techniques et leur manque évident de flexibilité les rendent bien souvent inadaptés à des applications complexes.

On envisage ici leur évolution dans une approche mécatronique. Leur conception doit en effet considérer simultanément : les conditions mécaniques de saisie, les besoins en capteurs pour le contrôle et l'adaptation de la prise, les moyens matériel et logiciel nécessaires à la commande et la programmation des fonctions de prise, enfin les opérateurs de liaison avec le module de contrôle de l'ensemble des processus physiques mis en œuvre dans le préhenseur.

C'est en cherchant une intégration cohérente de ces différentes composantes qu'a été développé le système de préhension flexible décrit dans cet article.

Pour la définition des caractéristiques cinémato-statiques des contacts et de leur position relative, nous nous sommes appuyés sur une méthode de prédiction de l'équilibre statique de la prise. Les concepts de base de cette méthode sont brièvement rappelés au paragraphe 3 de l'article.

Des mécanismes de préhension à barres permettent de réaliser un guidage rectiligne rigoureusement exact des contacts. Entre autres avantages, les mécanismes articulés donnent la possibilité d'adapter les caractéristiques de transmission de vitesses et de forces de l'actionneur par simple modification de longueur de certaines barres.

La mise en œuvre de plusieurs types de capteurs tactiles est envisagée au paragraphe 4. Ces capteurs tactiles procurent la possibilité de contrôler la fonction saisie et d'adapter certains paramètres de prise, tels que la position d'ouverture, l'effort de serrage, les variations dimensionnelles et de comportement mécanique des pièces manipulées.

Cet ensemble est contrôlé de façon autonome par un controleur local muni d'un bus de communication rapide normalisé, le CAN (Controller Area Network). Ce contrôleur local est également accessible par une liaison série standardisée.

La conception modulaire de l'ensemble électro-mécanique et capteurs permet de proposer plusieurs variantes de préhenseurs. Une gamme peut être déclinée sur la base du nombre de doigts (2 ou 3), des caractéristiques de transmission de puissance des mécanismes de préhension, du type et de la puissance des actionneurs, ainsi que des capteurs utilisés. Ainsi, les performances du préhenseur peuvent être adaptées à l'application abordée.

On décrit au paragraphe 6 des interfaces de réseau CAN conçues et réalisées pour les bus industriels VME et EISA.

Enfin, le dernier paragraphe est consacré à la présentation d'un mini-moteur d'inférence de type Prolog, spécialement développé pour les applications temps réel. Ce composant logiciel, mis en œuvre sur la carte interface VME-CAN, fournit un mode de programmation déclaratif de fonctions d'apprentissage et de détection d'aléas.

# 2. CONCEPTION MECATRONIQUE D'UN PREHENSEUR FLEXIBLE

Le développement de systèmes mécatroniques requiert une étude simultanée de l'ensemble des éléments constitutifs d'un processus physique (transformateurs et transmetteurs de puissance, mécanique, capteurs, électronique de puissance et de traitement, moyens de calcul temps réel et communication) en vue de réaliser une fonction globale.

Cette étude considère à la base les spécifications des fonctions à réaliser. Une approche possible, pour l'élaboration des spécifications fonctionelles, conduit à établir une liste hiérarchisée des contraintes significatives à exploiter pour dégager les concepts de base de la construction.

Pour un système de préhension flexible, ces contraintes touchent d'une manière générale:

- aux propriétés intrinsèques des objets à manipuler,
- aux opérations que subissent les objets,
- à l'environnement matériel relatif aux objets (systèmes d'alimentation, positionneurs, etc...),

ainsi qu'aux conditions d'intégration du système de préhension au processus global d'automatisation.

Elles s'expriment plus précisement comme suit :

- contraintes liées aux objets :
  - · dimensions et géométrie,
  - · inertie et masse,
  - · rigidité,
  - géométrie des surfaces de prise,
  - rugosité des surfaces.
- contraintes d'environnement de la fonction prise :
  - · sécurité de la prise,
  - · maîtrise à tout instant de la position et de l'orientation des objets,
  - temps de cycle de l'opération de saisie,
  - · variations de positionnement des objets avant prise,
  - efforts extérieurs appliqués à l'objet, dynamiques et de contact,
  - accessibilité aux espaces de prise et de dépose.
- contraintes d'intégration mécanique:
  - charge utile du manipulateur,
  - · fixation au segment terminal du manipulateur,
  - source d'énergie disponible au terminal.
- conditions d'intégration de l'informatique de commande.
  - possilité de contrôle d'axes supplémentaires,
  - interfaces de communication avec le contrôleur robot,
  - mise en œuvre des algorithmes de contrôle/commande du préhenseur.

A celles-ci, on peut ajouter la nécessité d'atteindre une bonne maintenabilité des équipements et d'offrir une protection aux chocs ainsi qu'aux effets électromagnétiques.

Une taxonomie des prises, établie par M. Cutkosky [CUTK], suggère d'accorder une importance identique aux trois premières classes de contraintes dans la conception d'un organe de préhension. Cependant, en pratique, une hiérarchie comme celle produite çi-dessus s'avère plus réaliste.

L'analyse des ces contraintes génériques, notamment celles liées à l'environnement de la fonction prise, met en évidence la nécessité de renforcer le caractère flexible et adaptatif de la prise. Un premier degré de flexibilité est atteint dès lors où sont assurées les fonctions élémentaires suivantes:

- maintien en position de la pièce indifféremment de sa géométrie, de ses dimensions et des efforts extérieurs qu'elle subit,
- mesure des efforts de serrage et adaptation aux variations de rigidité des objets,
- détection du contact des doigts sur l'objet,
- détection de la présence des objets.

D'autres fonctions peuvent s'avérer utiles à la réalisation d'une prise d'objet connu a priori, comme: la localisation des contacts par rapport aux éléments de surface de prise, la détermination de la géométrie locale de ces éléments de surface, ou encore l'identification du torseur d'effort développé dans l'interaction de l'objet avec son environement (ex: effort d'assemblage). La mise en œuvre de ces dernières induiront, bien évidemment, une complexité accrue du système, c'est pourquoi, sans négliger leur intérêt nous ne les considérerons pas directement dans ce qui suit.

Les moyens nécessaires au traitement des informations et au contrôle du système mécanique (processeurs et périphériques) sont à définir en fonction du nombre, de la nature des informations à traiter ainsi que de la complexité des algorithmes nécessaires à la commande. L'indépendance de ces moyens par rapport au contrôleur robot permet l'utilisation des matériels les plus appropriés pour chacune des fonctions, augmentant de ce fait les performances locales et pouvant conduire à une optimisation des coûts. Installés géographiquement proches du préhenseur, ils simplifient la transmission des signaux capteurs et de commande.

Plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour les transferts d'informations avec d'autres unités de contrôle. Le choix doit être adapté aux conditions de coût, de réalisation, de débit, de promptitude de mise à disposition des données (pour la synchronisation des actions de préhension aux autres tâches) et des conditions d'environnement. Parmi les moyens actuels, on distingue: les liaisons parallèles point à point, les liaisons séries point à point, synchrones ou asynchrones, les bus d'instrumentation ou les réseaux locaux rapides.

#### 3. CONCEPTION GENERALE

Un système de préhension se décompose physiquement en quatre parties :
- la structure mécanique, qui regroupe d'une part le système de contacts qui assure la prise et d'autre part les mécanismes de préhension qui animent les contacts et par lesquels est transmis l'effort de serrage.

- son ou ses actionneurs et leurs capteurs d'état associés,
- les capteurs tactiles,
- le système de commande et de contrôle des fonctions.

D'une manière générale, on cherche, dans la construction technologique, la meilleure intégration possible de ces sous-ensembles.

## 3.1 Détermination du système de contacts pour la saisie stable

Le nombre, la nature mécanique des liaisons par contact à établir sur l'objet, leur position relative sont à définir pour obtenir une prise dite "ferme" ou "enveloppée". Cette condition peut être traduite par l'intermédiaire notamment du cône P(G) des contraintes créées par les contacts . Ce cône doit, en effet, être tel qu'il engendre l'espace complet des torseurs  $\mathcal{R}^n$ , ce afin d'obtenir une immobilisation complète de l'objet indifféremment du torseur de force extérieur  $\mathcal{F}$  qui lui est appliqué (efforts à distance de gravité et inertiel, effort d'intéraction de l'objet avec l'environnement). Considérant 'm' contacts ponctuels sans frottement, cette condition s'écrit:

$$P(G) = \{ \sum_{i=1,m} f_{n,i} \hat{S}_i, f_{n,i} \ge 0 \} = \mathcal{R}^n$$
 (1)

Dans ce cas particulier,  $S_i$  représente un glisseur unitaire et  $f_{n,i}$  est un scalaire qui définit l'amplitude de la force normale appliquée par le contact i sur l'objet (voir figure 1). L'application G définit la géométrie de la prise. Les coefficients de la matrice associée à G sont ici, en colonne, les coordonnées pluckériennes  $(l_i, m_i, n_i, p_{0i}, q_{0i}, r_{0i})$  des droites support des forces de contact I (la matrice associée à G est une matrice rectangulaire à I lignes et I colonnes).

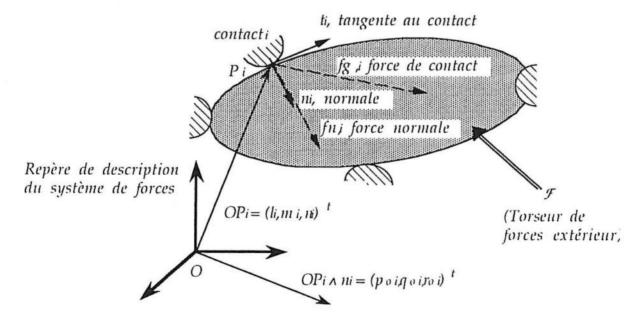


Figure 1 : Modélisation d'une prise

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Coordonnées pluckériennes des torseurs de base de l'effort de contact, pour un contact quelconque.

La condition (1), initialement introduite par Reuleaux [REUL], est une condition nécessaire à l'équilibre de la prise. L'équilibre sera observé si les contacts demeurent persistants quel que soit  $\mathcal F$ . La persistance du contact i est garantie dès lors où les forces  $f_{n,i}$ , mesurées positivement selon les normales intérieures à l'objet  $n_i$ , sont telles que:

$$f_{n,i} > 0, i = 1.m$$
 (2)

Celle-ci s'exploite directement en géométrie graphique, dans les espaces 2D et 3D des torseurs, en faisant appel aux proriétés des intersections des ensembles convexes. Pour des espaces de dimension plus élevée, l'analyse ne peut s'envisager que par l'algèbre linéaire des torseurs [KERR].

La condition (1) peut être relaxée si la position et la direction de l'axe central du torseur  $\mathcal{F}$  est connue et approximativement constante. Il suffit alors de vérifier que le torseur  $\mathcal{F}$  s'exprime sous forme d'une combinaison linéraire positive des éléments de G et qu'il ne se trouve pas sur la frontière.

$$\mathcal{F} \in (int(-P(G))) \tag{3}$$

Cependant, en pratique, on utilise généralement au plus 3 appuis (3 doigts). Une prise enveloppée devient, dans ces conditions, impossible à concevoir. Des composantes de force induite par frottement doivent venir compléter les forces normales aux appuis pour réaliser l'équilibre de l'objet. On parle alors d'une "fermeture relative" de la prise. Ces forces créées par frottement doivent respecter les limites de l'adhérence du contact. Ceci s'exprime pour chaque force résultante  $f_{g,i}$  et chaque moment de pivotement  $m_{0,i}$  par:

$$(f_{g,i}.f_{g,i}) - (1 - \mu_0)(f_{g,i}.n_i)^2 \le 0 \tag{4}$$

$$m_{o,i}^2 \le \mu_{ot}^2 f_{n,i}^2$$
 (5)

Dans (4) et (5),  $\mu_0$  et  $\mu_{ol}$  représentent respectivement le coefficient de frottement de Coulomb au glissement et au pivotement divisés par le facteur le sécurité utilisé pour les machines de transfert de charges (1.2 à 2.0).

Ces conditions deviennent plus compliquées à traiter géométriquement. On doit ici vérifier si  $\mathcal{F}$  se trouve à l'intérieur d'un cône polyédrique de contrainte (cône de contrainte de force et cône de contrainte de moment) [JI] défini comme le cône résultant des cônes élémentaires  $C_i$  de contrainte imposée par les N contacts avec frottement:

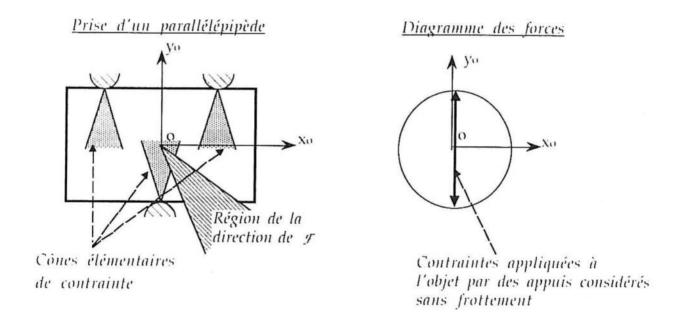
$$\mathcal{F} \in (int(-P(G)), \quad P(G) = \sum_{i=1,N} P_i$$
(6)

Pratiquement, il est plus simple de déterminer tout d'abord le sous-espace  $\Lambda w$  des mouvements laissés libres par les liaisons supposées sans frottement qui est tel que <sup>2</sup>:

$$W = \{w : p^t \triangle w \le 0, p \in P(G)\}$$
(7)

puis de vérifier la condition (4) pour les composantes de  $\mathcal{F}$  incluses dans  $\Lambda w$ . L'intérêt de procédé de la sorte est que l'on scinde le problème de l'équilibre en deux sous-problèmes, à traiter dans des sous espaces de dimension réduite<sup>3</sup>.

Ces éléments d'analyse de la prise servent directement à la conception mécanique et géométrique du système de contacts. On cherche en priorité, dans le choix de la prise, à faire que celle-ci soit la plus indépendante possible des forces induites par frottement, ceci pour augmenter la robustesse de la prise [YOSH]. La figure 2 illustre, sur un exemple simple qui considère la prise d'un parallélépipède par trois contacts ponctuels avec frottement (à déplacements parallèle à  $Oy_o$ ), le principe évoqué de sélection d'une prise "robuste". Ici, les appuis s'opposent à la direction principale de  $\mathcal{F}$ . Le diagramme des forces montre que le "cône" résultant se réduit une droite de direction  $Oy_o$ .



L'igure 2 : Illustration d'une fermeture relative de la prise.

représente la puissance virtuelle. 
$$\Lambda = \begin{pmatrix} \theta_{v^{1}}, \theta_{v^{1}}, \theta_{v^{1}}, \theta_{v^{1}}, \theta_{v^{1}}, \theta_{v^{1}} \end{pmatrix}$$

 $<sup>^2</sup>$  Le mouvement laissé libre est défini par le système de p torseurs réciproques à P(G). La forme quadratique  $p^1\!\Lambda w$ 

 $<sup>^{3} \</sup>dim(P) + \dim(W) = 6$  (3 dans le plan)

On peut déterminer algébriquement les composantes de force induites par frottement en résolvant le système d'équations traduisant le principe fondamental de la statique:

$$G.f = \mathcal{F} \tag{8}$$

Une solution générale au système d'équation linéaire est obtenue en utilisant notamment une méthode de résolution fondée sur la pseudo-inverse:

$$f = G^{+} \mathcal{F} + (1 - G^{+} G)z \tag{9}$$

G' désigne ici l'inverse à droite de G, et z un élément arbitraire de Rm.

Compte-tenu de la linéarité du système (8), les solutions possibles  $f_g$  (solutions statiquement admissibles) peuvent être mises sous la forme générale:

$$f_g = f_m + k f_h \tag{10}$$

L'équation 9 montre que les forces de contact, nécessaires à l'équilibre, sont constituées d'une part par les forces dites de manipulation  $f_{m,i}$ , qui sont une solution particulière à (8), et d'autre part des forces intérieures  $f_{h,i}$ , solution au système homogène associé.

Ces dernières constituent le système de forces auto-équilibré appliqué à l'objet en l'absence de torseur de force extérieur ( $\mathcal{F}=0$ ). Dans le cas le plus commun, où l'effort de serrage est appliqué par un actionneur unique, ce système est implicitement satisfait.

Les forces intérieures constituent le noyau de l'application linéaire définie par G. Celles-ci sont modulables d'un facteur scalaire k qui doit être calculé pour que les  $f_{g,t}$  permettent d'éviter tout risque de glissement ou de rupture du contact (conditions (2) (4)) [PARK1].

Le résultat précédent sert directement au dimensionnement de l'actionneur. La force à développer Γ, par l'actionneur, pour réaliser le serrage de l'objet dans les conditions définies ci-dessus est:

$$\Gamma = N.max \mid f_{g,i} \mid \tag{11}$$

Une conséquence directe à la condition (1) est que la prise doit être hyperstatique [NGUY]. L'utilisation de surfaces de contact réduites, assimilables à des contacts ponctuels avec frottement, autorise une bonne accessibilité aux surfaces de prise et est adaptée à des surfaces de saisie planes ou convexes. Ici, trois contacts de ce type sont utilisés, réalisant ainsi une prise trois fois hyperstatique. Une disposition relative de ces contacts à 120 degrés offre une bonne prise à différentes géométries élémentaires de pièce [PARK2].

Dans la réalisation, ces contacts sont amovibles car montés sur des dispositifs passifs de verrouillage pour permettre leur changement automatique en cas de besoin.

# 3.2 Définition des mécanismes de préhension

Les mécanismes de préhension doivent être eux définis de sorte à offrir:

- une bonne transmission de vitesse de l'actionneur aux contacts dans le mouvement de fermeture de la pince,

- une bonne transmission de la force (ou couple) développée par l'actionneur aux contacts pour le serrage de l'objet.

Ils doivent, par ailleurs, satisfaire aux conditions de rigidité de la prise tout en

restant aussi léger et peu encombrant que possible.

Les solutions technologiques envisageables, pour les mécanismes des doigts, peuvent être classées en 5 familles [CHEN]: (1) les systèmes articulés, (2) les engrenages, (3) les cames, (4) les pignons et courroies. Parmi celles-ci, les mécanismes à barres apportent plusieurs avantages tels que notamment, la possibilité de paramétrer facilement la transmission de force/déplacement opérée par le mécanisme en s'aidant d'outils de synthèse des mécanismes articulés plans [CHAS]. Ils sont légers, réalisent un guidage avec peu de dissipation d'énergie par frottement, et s'adaptent plus facilement, du fait du nombre de variantes possibles, aux conditions d'encombrement.

Le mécansime utilisé dans la construction du préhenseur réalisé est décrit sur la

figure 3.

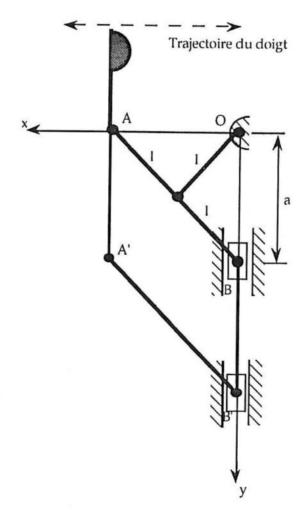


Figure 3 : Mécanisme de préhension "à ligne droite".

Conçu sur la base d'un double balancier d'Evans, il permet à chacun des doigts de décrire rigoureusement une ligne droite en astreignant les points B et B' selon Oy. La loi entrée/sortie de ce mécanisme est:

$$\frac{v_A}{v_B} = \frac{-a}{\sqrt{(4l^2 - a^2)}} = \frac{f_B}{f_A} \tag{12}$$

La fonction de transmission de force de ce mécanisme peut être obtenue directement à partir de (11) par application du principe des travaux virtuels. Cette fonction depend de l'ouverture du préhenseur. On peut remarquer que la force développée par le doigt varie dans le même sens que le diamètre d'ouverture.

Trois mécanismes identiques sont reliés à une pièce dont le mouvement de translation est commandé par un système vis écrou irréversible (cf. figure 4). Par ailleurs, un élément mécanique déformable, de raideur longitudinale calibrée, a été introduit dans la transmission du mouvement. Il donne une dynamique dans l'application de l'effort de serrage qui ne pourrait être obtenue par la déformation des doigts seuls.

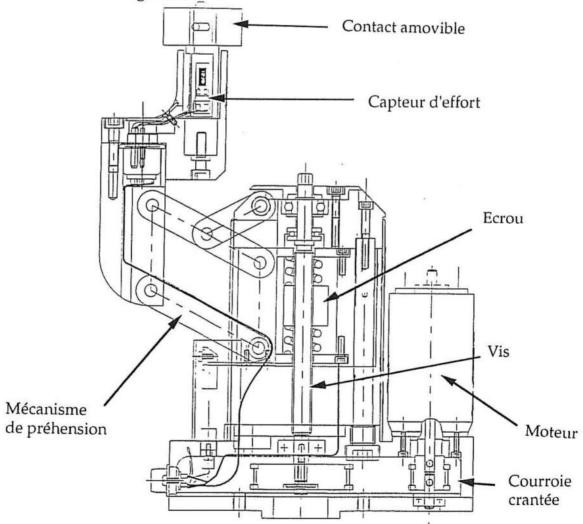


Figure 4 : Vue d'ensemble du prototype réalisé.

A noter que ce principe permet de transformer ce préhenseur en version bidigitale, par une simple modification du lieu des points Ai.

Le fait de disposer de trajectoires rectilignes, pour les contacts, simplifie considérablement la saisie dans la mesure où les contacts, en position d'ouverture se trouvent directement dans le plan le plan de prise.

Plusieurs mécanismes "à ligne droite" sont connus, comme celui de Hart de Kempe ou encore de Peaucellier. D'autres, comme celui de Watt, donnent des courbes à "longue inflexion" qui peuvent être assimilées, sur des segments

importants, à des droites (voir illustration figure 4).

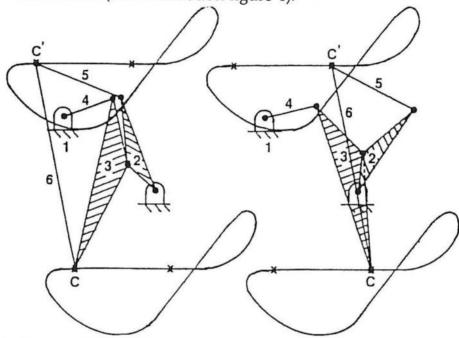


Figure 5: Système articulé plan approximant un segment de droite, d'après [CHAS]

Une motorisation électrique fournit la souplesse d'emploi recherchée ici. Un moteur à courant continu, disposé comme sur la vue de la figure 4 permet d'offrir une gamme de puissance étendue, sans modification technologique de la mécanique du préhenseur. Un vérin pneumanique linéaire peut, par ailleurs, se substituer commodément à ce dernier.

### 4. EQUIPEMENT SENSORIEL

L'exploitation conjointe de capteurs d'état et tactiles permet de rendre la fonction préhension réactive aux variations de l'environnement. L'information d'état, pour un système de préhension est limitée à la position et/ou vitesse des doigts et à la force généralisée développée par l'actionneur. L'information tactile peut prendre plusieurs formes, selon le degré de sophistication des capteurs utilisés que l'on a divisé en trois catégories:

-les capteurs binaires de contact, micro-switches optiques ou magnétiques pour la détection du contact doigt/objet.

- les capteurs de force: pour des raisons d'encombrement et de poids, on utilise principalement deux types de capteurs de force pour la détection tactile: (1) les extensomètres, comme il existe plusieurs illustations [SALI], [GUIN], [CHENE], (3) les résistances de détection de forces type FSR<sup>4</sup>.

- les transducteurs de pression comme les polymères pièzoélectiques [FEAR].

En réalité le SFR se situe quelque part entre un capteur de force et un capteur de pression. Sa sensibilité à la répartition de la force signifie qu'il doit être utilisé comme capteur qualitatif.

La construction technologie du préhenseur est également conditionnée par l'instrumentation choisie. Dans sa version actuelle, le préhenseur dispose:

- d'un potentiomètre linéaire pour la mesure de la position de l'écrou de commande des mécanismes des doigts,

- d'un codeur de position incrémental plaçé sur l'axe du moteur,

- d'un capteur de force 2 composantes (dans le plan x-y), à jauges de déformation résistives, disposé dans chaque doigt.

A noter, que la simple utilisation de la mesure différentielle des capteurs de position permet d'estimer le déformation de l'élément élastique et par conséquent de réguler le couple moteur développé pour l'application du serrage.

### 5. LE CONTROLEUR LOCAL

La commande de ce préhenseur est réalisée par une électronique dédiée, conçue de manière compacte de sorte à pouvoir être plaçée proche de celui-ci. Ce contrôleur local met en œuvre toutes les fonctions de prise ainsi qu'un réseau de terrain déterministe pour échanger des informations en temps réel avec notamment le contrôleur du manipulateur.

Ce choix permet de :

- fiabiliser la transmission des signaux, plus particulièrement ceux issus des capteurs,
- faciliter les connexions,
- décharger la partie commande hiérarchiquement supérieure des fonctions de régulation et de gestion des capteurs et donc de constituer un ensemble autonome,
- renforcer la maintenabilité de l'ensemble,
- assurer une sécurité minimale en cas de rupture des liaisons.

L'ensemble matériel réalisé se compose:

- d'un micro-contrôleur 80C196 d'Intel,
- d'un processeur de communication réseau CAN 82526 d'Intel,
- d'un composant d'asservissement HCTL1100 de Hewlett Packard,
- d'un composant de puissance L298 de Signetics.

La figure 6 donne une vue de la carte de contrôle local.

 $<sup>^4</sup>$  La résistance de détection de force est une technologie Interlink Electronics.

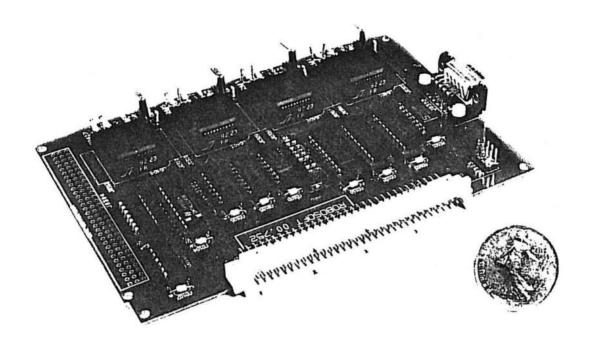


Figure 6: Le contrôleur local

### a) Le micro-contrôleur 80C196

Ce micro-contrôleur 16 bits a été développé par Intel pour la gestion de systèmes dédiés. Sa vitesse d'exécution importante et sa facilité de mise en œuvre en font un composant privilégié pour la création de système de contrôle de processus bas-niveau.

Celui-ci exécute toutes les requêtes aux fonctions faites, à travers le réseau, aux fonctions de prise (i.e. ouverture paramètrée en position, application de l'effort de serrage désiré, mouvement gardé des doigts sur la détection du contact, .....). Inversement, il effectue la mise en forme des informations transmises au processeur de réseau qui se charge de les acheminer.

# b) le processeur de réseau CAN 82526

Ce composant est un VLSI dédié à la mise en forme et à l'acheminement de données par un bus série asynchrone à deux fils symétriques. Ce bus se présente sous la forme normalisée des différentes couches ISO/OSI. C'est un protocole de communication qui supporte de manière efficace la distribution de commande en temps réel. Par ailleurs, il est compatible avec les microprocesseurs 8 ou 16 bits, et donc parfaitement adapté à une connexion au micro-contrôleur 80C196. Après que le 80C196 ait déposé un message dans le processeur de réseau, celui-ci le transmet en s'assurant de la bonne réception. En cas de défaut de réception, il initialise la transmission et répète la transmission, ceci de manière transparente pour le demandeur. Ce type de réseau transmet à une vitesse maximale de 1 Mbits par seconde sur une simple paire de fils torsadés et possède physiquement une bonne immunité aux bruits, qui se trouvent par ailleurs corrigés par un correcteur d'erreur. Tous les messages considérés sans fondement sont retransmis automatiquement avec un temps de recouvrement maximun de 29 bits.

c) le composant d'asservissement HCTL 1100

Le HCTL 1100 est un circuit de contrôle numérique de mouvement asservi en position ou en vitesse. La commande de sa sortie PWM est envoyée à l'amplificateur de puissance du moteur. Il dispose par ailleurs d'entrées compteurs incrémentaux réversibles pour le codeur de position relative.

# 5. 1. Description matérielle

Le micro-contrôleur 80C196 avec sa mémoire programme et de données, le contrôleur de réseau CAN 82526 et le contrôleur d'asservissement HCTL 1100 ainsi que le composant de puissance L298 sont intégrés de manière compacte sur une même carte électronique.

Si le CAN a été conçu pour être interfacé avec le 80C196, il n'en est pas du tout de même pour le HCTL 1100 qui présente un bus incompatible au premier. Ce problème a été résolu en le reliant directement aux lignes de port disponibles du CAN auxquelles on accède par un logiciel adapté.

Les connexions entre les circuits ont été réalisées de la manière suivante:

- un bus micro-contrôleur sur lequel sont connectés la mémoire ROM (27C512) contenant les programmes, une mémoire RAM de 32K-Octets (HM62256) de données et le composant réseau CAN.

- une liaison vers le HCTL 1100 par le biais des ports du CAN,

- une liaison entre le HCTL 1100 et le composant de puissance L298.

Pour des raisons de complexité et d'encombrement, il a été préféré pour la sélection d'adresse des composants, un circuit logique programmable de type PAL 16L8 à une électronique de décodage.

Par ailleurs, du fait que les lignes de commande du L298 sont de type logique PWM, les parties puissance et commande ont été isolées galvaniquement. De même, le HCTL1100 est isolé des parasites du moteur par des opto-coupleurs disposés sur la liaison HCTL1100-L298.

# 5.2 Description logicielle

La structure logicielle développée et exécutée sur le micro-contrôleur se décompose comme suit:

- un module de communication réseau utilisé pour l'émission/réception des messages par le CAN,
- un module de commande du HCTL1100,
- un interpréteur des primitives d'actions relatives à la fonction prise. Ces fonctions ont été écrites en langage 'C' pour garantir la portabilité.

### 6. INTERFACE RESEAU

L'exploitation du réseau de communication CAN a été considérée à partir des technologies récentes des contrôleurs de robots manipulateurs. Considérant que celles-ci exploitent de plus en plus les bus industriels VME et EISA (PC-AT), deux cartes interface CAN-VME et CAN-EISA ont été développées. Nous décrivons dans ce qui suit, l'une d'elle, la carte CAN-VME (figure 6).

Cette carte a été construite sur la base d'une carte TSVME 430, carte esclave qui comporte une interface bus-VME, un micro-processeur 68010 et une possibilité de connection avec une partie "utilisateur" qui dispose de tous les signaux nécessaires du 68010, des signaux de pré-codage et d'interruption.

Sur cette partie "utilisateur" ont été implantées quatre contrôleurs de réseau CAN 82526 ainsi que l'électronique nécessaire à l'adaptation des signaux entre le 68010 et le CAN 82526. En effet, certains signaux nécessaires à la communication entre l'un et l'autre sont soit manquants, soit imcompatibles d'un point de vue temporel. De plus, le bus du CAN 82526 est de type multiplexé alors que celui du 68010 ne l'est pas. Cette circuiterie sert donc à créer les signaux suivants :

- ALE du 82526,
- RD/WR du 82526
- DTACK du 68010,

ainsi que le multiplexage du bus 68010.

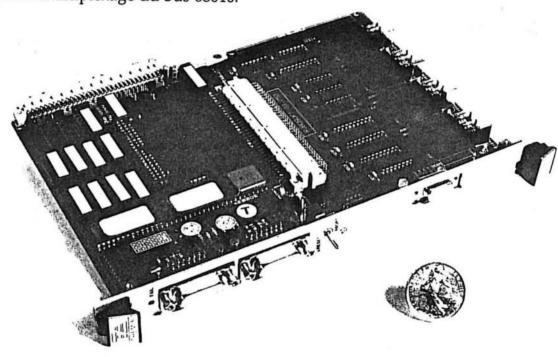


Figure 6 : Vue de l'interface VME-CAN

Par ailleurs, pour permettre au système d'identifier puis de réagir devant les variations locales ou des situations d'échec, nous avons introduit dans le système de programmation un niveau de décision. Il convient en effet de surveiller le déroulement des actions élémentaires pour au besoin, sur des événements asynchrones, modifier leur séquencement initial. Pour cela, chaque action doit être conditionnée par des pré-conditions, liées à l'existence d'un contexte, les actions modifiant ce contexte. Considérant l'état du monde d'actions on crée des décisions conduisant à une modification du plan initial.

La programmation déclarative permet une construction "en vrac" des solutions aux problèmes. Ici, les connaissances sont représentées par des règles de

production et un moteur d'inférence d'ordre 1 est utilisé pour la résolution des buts. Le choix du moteur d'inférence a été orienté par les conditions suivantes:

- être implémentable sur un système d'exploitation temps réel,

être de taille réduite et ne comporter que des prédicats relatif à la logique,
permettre l'adjonction de prédicats propres aux problèmes de préhension.

Un moteur d'inférence de type PROLOG inspiré de celui de Van Caneghem a été développé en langage 'C'. La taille du programme obtenu est relativement faible (30 Koctets avec la base de faits) ce qui laisse une place importante pour la base de règles ainsi que pour la pile d'exécution du moteur. Une bonne efficacité du moteur d'inférence a été atteinte grâce au codage préalable des règles. Pour pouvoir effectuer des calculs simples, nous avons adjoint quelques primitives mathématiques élémentaires : addition, mutiplication, division d'entiers, modulo, inégalités.

La manipulation de la base de règles se fait à l'aide des prédicats :

- asserta(\_a): ajoute une close de HORN en tête d'un paquet, - assertz(\_a): ajoute une close de HORN en queue de paquet,

- retract(\_a) : supprime une règle du paquet, pour le cas notamment ou l'une d'elle n'est pas syntaxiquement correcte,

- abolish( \_a) : supprime toutes les règles commençant par l'indentificateur repéré par la chaîne de caractère \_a.

Nous avons également introduit une notion fondamentale dans ce cadre d'application, la notion de temps. Disposant d'une base de temps grâce à l'horloge temps réel de la carte, il est en effet possible d'introduire une limite à l'exécution d'une tâche. Connaissant le temps minimum nécessaire à l'éxécution de celle-ci, un échec d'unification sur le temps peut être provoqué. Nous pouvons aussi geler des prédicats et retarder des unifications sur contraintes temporelles. Ainsi, par les fonctions de destruction et de gestion des priorités du système d'exploitation temps-réel, un séquencement temporel des actions peut être obtenu.

Cet outil logiciel sert notamment à réaliser un apprentissage du diamètre de fermeture du préhenseur pour un type de pièce. Il donne par ailleurs une possibilité de gérer toutes sortes d'anomalies survenant lors de l'éxécution des fonctions de prise (absence de pièce, détection d'une panne, etc ...).

### 7 CONCLUSION

Nous avons présenté un système de préhension flexible et modulaire. La plupart de ses éléments est de conception originale. C'est le cas des mécanismes de préhension, du système de contrôle local comme de l'interface de réseau CAN et du mini système expert développé pour la programmation déclarative de fonctions complexes. Au delà, des éléments d'approche du problème de conception de système de préhension sont avancés. Ils sont développés plus en détail pour chaque fonction élémentaire, notamment pour la recherche du système de contacts réalisant à l'équilibre de la prise.

#### Remerciements

L'auteur exprime ses remerciements à D. Fontaine et F. Boudin, S. Buchett et P. Gorce pour le concours qu'ils ont apporté au développement de ce système ainsi qu'à la société Robosoft pour l'industrialisation.

### Bibliographie

[ARNE] D.J. Arnett, "A high performance solution for In-vehicle Networking Controller Area Network (CAN)", SAE 870823.

[CANE] M. Van Caneghem, "L'anatomie de Prolog", InterEditions 86.

[CHAS] T.R. Chase, T.R. Roberts, "Computer aided kinematic synthesis of a parallel jaw robotic gripper", Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacturing, vol 4, n°7.

[CHENE] C. Chenebault, "Développement d'un préhenseur doté de capteurs tactiles et d'un porteur six axes pour la réalisation robotisée d'assemblages de haute précision", Thèse de l'Université de Poitiers, Mars 87.

[CHEN] F.Y. Chen, "Gripping mechanisms for Industrial robots", Mechanism and Machime Theory, Vol 17, n°5, 1982.

[CUTK] M.R. Cutkosky, "Robotic Grasping and Fine Manipulation", Kluwer Academic Publishers, 1985.

[FEAR] R.S. Fearing, "Tactile sensing mechanisms", The International Journal of Robotics Research, Vol. 9, n° 3, June 1990.

[FONT] D. Fontaine, P. Bidaud, "Design and Implementation of an Inductive Learning Control System for a Manipulator-Gripper", International journal Robotica (à paraître).

[GUIN] J.C. Guinot, J.P. Lallemand, S. Zeghloul, "Etude d'un préhenseur tridigital avec sens tactile pour opérations d'assemblage", T.M.M. New-Dehli, Décembre 1983.

[JI] Z. Ji, "Dexterous hands: Optimizing grasp by desing and planning", PhD thesis, Stanford University, August 1987.

[KERR] D.R. Kerr, D.J. Sanger, "The analysis of kinematic restraint", 6th Congress on Theory of Machines and Mechanisms, 1983.

[NGUY] V.D. Nguyen, "The synthesis of stable force closure grasp", Int. Journal of Robotics Reserach, vol 3 n° 5, 1987.

[PARK1] Y.C. Park, G.P. Starr, "Fingerforce computation for manipulation of an object by a multi-fingered hand", Proc IEEE of International Conferences on Robotics and Automation, Philadelphia, May, 1989.

[PARK2] Y.C. Park, G.P. Starr, "Grasp synthesis of polygonal objects using a three fingered robot hand", The International Journal of Robotics Research, Vol 11, n° 3, Juin 1992.

[REUL] F. Reuleaux, "Kinematics of Machinery", MacMillan, London, 1876.

[SALI] K. Salisbury, "Interpretation of contact geometries from force measurements", Robot Hands and Mechanism of Manipulation, pp 133-150, MIT Press, 1985.

[WRIG] P. K. Wright, M.R. Cutkosky, "Design of grippers", pp 96-116, Handbook of the Industrial Robotics John Wiley Eds, 1987.

[YOSH] T. Yoshikawa, K. Nagai, "Evaluation and determination of grasping forces for multi-fingered hands", Proc IEEE International Conferences on Robotics and Automation, San Francisco, 1987.